



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA DEL COLOR DE SOLUCIONES
ACUOSAS DE AZÚCAR DE CAÑA DE LOS TIPOS REFINO, PATRÓN Y
SUPERIOR PROVENIENTES DE LOS INGENIOS DE GUATEMALA**

CARLOTA CONCEPCIÓN SALAZAR RODRÍGUEZ
ASESORADA POR: LIC. MARCO TULIO URIZAR MONCRIEFF

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA DEL COLOR DE SOLUCIONES
ACUOSAS DE AZÚCAR DE CAÑA DE LOS TIPOS REFINO, PATRÓN Y
SUPERIOR PROVENIENTES DE LOS INGENIOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOTA CONCEPCIÓN SALAZAR RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA DEL COLOR DE SOLUCIONES ACUOSAS DE AZÚCAR DE CAÑA DE LOS TIPOS REFINO, PATRÓN Y SUPERIOR PROVENIENTES DE LOS INGENIOS DE GUATEMALA.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de marzo de 2003.

Carlota Concepción Salazar Rodríguez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yasminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Edgar Adolfo Reynoso Enriquez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS :

A Dios Todopoderoso, por ser quien guía mis pasos en cada momento de mi vida y por haberme dado la oportunidad de culminar exitosamente mis estudios universitarios.

A mis padres, por haberme dado el privilegio de tener la familia tan especial que tengo, por brindarme la oportunidad de estudiar, de formar mis valores y tener la visión de forjarme un día mejor y ser parte de un mañana digno, fructífero, retador y lleno de metas para ser parte del desarrollo de mi país.

A mi asesor, Lic. Marco Tulio Urizar Moncrieff, por brindarme su amistad y compartir sus conocimientos y experiencias.

A la gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala, por llenar mi vida de enseñanzas, conocimientos y experiencias, a través de cada uno de mis maestros. Por formarme como mujer profesional y brindarme mejores oportunidades.

DEDICATORIA :

A DIOS	Por su amor, presencia y bendición infinita derramada en mi vida
A MI PADRE	Oscar Ettmar Salazar Cienfuegos, por su amor incondicional y sabiduría en darme la enseñanza en el momento adecuado, por brindarme la seguridad de poder contar con él en todo momento.
A MI MADRE	María Eugenia de Salazar, por su amor y entrega incondicional, su dedicación y lucha por hacer de mi una mujer de bien
EN ESPECIAL	A mi abuelita, Carlota Figueroa vda. de Rodríguez (=), por ser ejemplo de amor , perseverancia, tenacidad y decisión, por ser una mujer fuerte y luchadora, te amo abuelita.
A MIS ABUELOS	Olga de Salazar, Oscar Tulio Salazar (=) e Ismael Rodríguez (=), por su ejemplo de esfuerzo y dedicación
A MIS HERMANAS	Martha Eugenia y Lissette, por su apoyo incondicional
A MIS TÍOS	Janeth, Erick, Isamel y Estuardo, por su apoyo y su cariño
A MIS TÍOS POLÍTICOS	Susy, Karla, Nelly y Aaron, por su cariño y comprensión
A MIS PRIMOS	Susy, María Fernanda, Krystel, Karlita, Gabriel, Olguita, Michelle, Ivette e Ivonne, por su cariño

A MIS PADRINOS

Max y Angelita,
por su cariño y sus consejos

A MI NOVIO

Miguel Angel Barreda Muralles,
por su amor, amistad, apoyo,
comprensión y confianza

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SIMBOLOS	VIII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	X
OBJETIVOS	XI
HIPÓTESIS	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
1. LA CALIDAD	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición de la calidad	2
1.3 Sistemas de calidad	3
1.4 Control de calidad estadístico	4
1.5 El proceso de control de calidad y la formación de círculos de calidad	5
2. LA CAÑA DE AZÚCAR	
2.1 Marco teórico	8
2.2 Morfología y desarrollo	9
2.3 Variedades de caña	10
2.3.1 Clima	11
2.3.2 Temperatura	12
2.3.3 Luz	12
2.3.4 Agua	12
2.3.5 Vientos	13

2.3.6	Altitud	13
2.3.7	Suelos	13
2.4	Proceso de extracción de la sacarosa	13
2.4.1	Proceso de fabricación del azúcar	14
3.	METODOLOGÍA	
3.1	Medios	19
3.1.1	Recursos humanos	19
3.1.2	Recursos físicos	19
3.1.3	Recursos materiales	20
3.2	Diseño del muestreo	21
3.2.1	Selección de los sitios de muestreo	21
3.3	Determinación de color de una solución de azúcar blanco. Método ICUMSA GS2/3-9 (1994)	21
3.3.1	Objetivo	21
3.3.2	Campo de aplicación	21
3.3.3	Definiciones	22
3.3.4	Principio	23
3.3.5	Reactivos	23
3.3.6	Procedimiento	24
3.4	Determinación de color de una solución de azúcar blanco. Método alternativo	24
3.4.1	Procedimiento	25
4.	RESULTADOS	26
5.	DISCUSIÓN	32

CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
APÉNDICES	38
ANEXOS	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama del proceso de fabricación del azúcar	18
2	Rangos de variación experimental para la evaluación de absorbancias en soluciones de azúcar refino utilizando agua desmineralizada	28
3	Rangos de variación experimental para la evaluación de absorbancias en soluciones de azúcar patrón según método ICUMSA GS1-7	29
4	Rangos de variación experimental para la evaluación de absorbancias en soluciones de azúcar superior según método ICUMSA GS1-7	30
5	Evaluación de la incertidumbre en la medición de las absorbancias al comparar las lecturas espectrofotométricas de los métodos ICUMSA GS2/3 – 9 y el alternativo propuesto al medir color en soluciones de azúcar refino	31
6	Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-1-A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	48
7	Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-2-A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	49
8	Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-1-B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	49

9	Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-2-B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	50
10	Espectro de absorción de la panela utilizando como disolvente agua desmineralizada	50
11	Espectro de absorción del azúcar refino (R1-50B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	51
12	Espectro de absorción del azúcar refino (R1-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	51
13	Espectro de absorción del azúcar refino (R2-50B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	52
14	Espectro de absorción del azúcar refino (R2-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	52
15	Espectro de absorción del azúcar refino (R3-50B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	53
16	Espectro de absorción del azúcar refino (R3-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	53
17	Espectro de absorción del azúcar refino (R4-50B) utilizando como disolvente solución <i>buffer</i> de TEA/HCl	54
18	Espectro de absorción del azúcar refino (R4-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada	54
19	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-1) utilizando como disolvente agua desmineralizada	55
20	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-2) utilizando como disolvente agua desmineralizada	55
21	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-3) utilizando como disolvente agua desmineralizada	56
22	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-4) utilizando como disolvente agua desmineralizada	56

23	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-5) utilizando como disolvente agua desmineralizada	57
24	Espectro de absorción del azúcar patrón (P-6) utilizando como disolvente agua desmineralizada	57
25	Espectro de absorción del azúcar superior (S-1) utilizando como disolvente agua desmineralizada	58
26	Espectro de absorción del azúcar superior (S-2) utilizando como disolvente agua desmineralizada	58
27	Espectro de absorción del azúcar superior (S-3) utilizando como disolvente agua desmineralizada	59

TABLAS

I	Comparación de las absorbancias obtenidas con cada uno de los métodos, para el azúcar refinado	38
II	Absorbancias obtenidas para los azúcares tipo patrón y superior	39
III	Diferencias obtenidas a partir de la comparación de las absorbancias del azúcar tipo refinado con cada uno de los métodos	40
IV	Variabes calculadas para la aplicación del método estadístico “ <i>t de student</i> ” para datos correlacionados del azúcar tipo refinado	41
V	Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo refinado	41
VI	Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo patrón	41
VII	Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo superior	41
VIII	Cálculos para el análisis de mínimos cuadrados	42
IX	Valores críticos de la distribución “ <i>t de student</i> ”	60
X	Variedades de caña de azúcar utilizadas en Guatemala durante el período de zafra 2000 – 2001	62
XI	Especificaciones del agua desmineralizada	63

LISTA DE SÍMBOLOS

nm	Nanómetros
H₀	Hipótesis nula
H_i	Hipótesis alternativa
TEA	Trietanolamina
HCl	Acido clorhídrico
soln	Solución
solv	Solvente
g / ml	Gramos por mililitro
M	Molaridad
°C	Grados celsius
μm	Micrómetros
mm	Milímetros
Σ	Sumatoria
D	Diferencia
D_{obt}	Media de las diferencias
N	Número de diferencias
t_{obt}	<i>t de student</i> obtenida
t_{crit}	<i>t de student</i> crítica
μ	Media de la población de diferencias
SCD	Suma de los cuadrados de las diferencias muestrales
α	Nivel alfa

GLOSARIO

Absorbancia	Es la serie de frecuencias absorbidas por una muestra.
<i>Buffer</i>	Solución amortiguadora o tampón, que evita variaciones de pH.
Gramínea	Familia de las plantas monocotiledóneas que tienen tallos huecos divididos por nudos y flores en espigas.
ICUMSA	Comisión Internacional para la Unificación de Métodos de Análisis de Azúcar.
Longitud de onda	Es la distancia entre dos puntos similares sobre dos ondas sucesivas (tal es la distancia entre dos máximos o dos mínimos).
pH	Logaritmo del inverso de la concentración molar de los iones hidrógeno.
Prisma	Cuerpo transparente limitado por dos caras que se cortan y que sirve para producir la reflexión, la refracción y la descomposición de la luz.
Sacarosa	Disacárido formado por la unión de glucosa y fructosa. Su fórmula empírica es $C_{12}H_{22}O_{11}$.
Transmitancia	Es la fracción de radiación incidente transmitida de la muestra a la longitud de onda.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se aplicó un método alternativo para la evaluación del color de muestras de soluciones de azúcar tipo refino, el cual utiliza como disolvente únicamente agua desmineralizada y se establecieron con base espectrofotométrica los límites de variación experimental para la evaluación de soluciones de azúcar tipo refino, patrón y superior que se producen en los ingenios de Guatemala.

Se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el método ICUMSA GS2/3-9, el cual utiliza solución *buffer* de trietanolamina / ácido clorhídrico (TEA/HCl) como disolvente, la cual es de alto costo y poca duración y el método propuesto en este trabajo. Asimismo, se observó que los contaminantes poseen mayor absorbancia en longitudes de onda menores a 420 nm.

Se compararon las lecturas espectrofotométricas obtenidas con el método ICUMSA GS2/3-9 y el alternativo propuesto, para determinar la mejor recta que se ajusta a las mediciones de color en soluciones de azúcar tipo refino. Asimismo, se evaluó la incertidumbre en las lecturas espectrofotométricas del método alternativo y se observó la ausencia de paralelismo en la respuesta, lo que implica que las lecturas de absorbancias en el método alternativo tienden a ser menores en comparación a las lecturas de absorbancias en el método ICUMSA GS2/3-9.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar espectrofotométricamente el color de los azúcares de los tipos refino, patrón y superior, en muestras de diferentes ingenios de Guatemala.

- **Específicos**

1. Determinar la curva de absorbancia básica de muestras consideradas aceptables de los tipos refino, patrón y superior, de 350nm a 750 nm.
2. Obtener las bandas de absorción de la sacarosa pura grado analítico y de la panela, en el rango de 350nm a 750nm.
3. Determinar las absorbancias de las muestras de azúcar tipo refino utilizando *buffer* y agua desmineralizada como disolventes, para conocer si existen diferencias entre ellas.
4. Establecer los límites de referencia que se utilizarán para aceptar o rechazar una muestra de azúcar, en sus diferentes tipos de acuerdo al muestreo.

5. Identificar la longitud de onda a la cual los contaminantes de color tienen máxima absorbancia.
6. Recomendar este tipo de procedimiento para la evaluación de la calidad en el color del azúcar.
7. Recomendar buenas prácticas de manufactura para el almacenamiento, transporte y distribución del producto terminado.

HIPÓTESIS

Utilizando métodos espectrofotométricos se pueden establecer los límites de calidad para la evaluación de muestras de azúcar de los tipos refino, patrón y superior.

Hipótesis nula (H₀)

Utilizando métodos espectrofotométricos se puede establecer que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el método ICUMSA y el método alternativo propuesto.

Hipótesis alternativa (H₁)

Utilizando métodos espectrofotométricos se puede establecer que existen diferencias estadísticamente significativas entre el método ICUMSA y el método alternativo propuesto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los procedimientos utilizados para el análisis de color de muestras de azúcar son los aprobados por la Comisión Internacional para la Unificación de Métodos de Análisis de Azúcar (ICUMSA). El método GS2/3-9 (1994) es el que se utiliza para la evaluación del color de muestras de soluciones de azúcar tipo refino, en el cual es necesario utilizar como disolvente solución *buffer* de trietanolamina / ácido clorhídrico (TEA/HCl).

En el presente trabajo se propone un método alternativo, para la evaluación del color de muestras de soluciones de azúcar tipo refino, en el que se utiliza como disolvente únicamente agua desmineralizada. Asimismo, se analizaron espectrofotométricamente muestras de soluciones de azúcar de los tipos patrón y superior, en base al método GS1-7 (1994) de ICUMSA, el cual utiliza como disolvente agua desmineralizada.

Al compararse las lecturas de las absorbancias obtenidas para las muestras de soluciones de azúcar tipo refino, se estableció que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el método oficial y el propuesto.

Con las lecturas de las absorbancias obtenidas para las soluciones de azúcar de los tipos refino, patrón y superior, se establecieron los límites de variación experimental para aceptar o rechazar una muestra de azúcar.

1. LA CALIDAD

1.1 Antecedentes

Para alcanzar la fortaleza comercial y la confianza de los consumidores es necesario entregar productos y servicios de alta calidad. Esto es el resultado de la fuerte competencia, que surge de la dimensión global, que han adquirido todas las empresas.

“La estrategia de la empresa debe basarse en el cliente y en los requerimientos de competitividad. La calidad surge como una necesidad para poder sobrevivir en mercados más entrelazados y globalizados, tanto a escala mundial como al interior de los bloques económicos.” (Dobles, 1994)

La calidad gira alrededor de la pasión y de la entrega. Es muy importante comprender y aceptar que la calidad ha dejado de ser una característica técnica para pasar a ser una característica de negocio.

La producción azucarera es una de las pocas actividades en las cuales el efecto de la calidad (en la materia prima, durante el proceso y en el producto final) es rápida y fácilmente cuantificable. Es por ello que el ingenio, quien recibe un alto porcentaje del valor del azúcar producido, debe ser correctamente instruido de los perjuicios económicos que se provoca a sí mismo al entregar un material de mala calidad a los consumidores.

Cada miembro de la organización tiene la función de cumplir en la conformación de una cultura de calidad, siendo la única forma de lograrlo asegurando la participación íntegra y voluntaria de todos.

1.2 Definición de calidad

Una definición breve de **calidad** es: la satisfacción del cliente. Un **cliente** es aquella persona a la cual un producto o proceso impacta. Existen diversos tipos de clientes que se pueden clasificar en dos grupos :

1.2.1. Cliente externo : incluye no solo al usuario final, sino también a los procesadores intermedios y a los comercializadores.

1.2.2. Cliente interno : incluye tanto a las divisiones, personeros, etc., de la empresa como otros departamentos y secciones de otras empresas, a los que afecta el proceso.

Un producto se define como : la salida de un proceso y puede clasificarse en tres categorías :

- A) Bienes : por ejemplo el azúcar.
- B) Software : programa, un informe, una instrucción, etc.
- C) Servicio : bancos, seguro, transporte, etc. Los servicios también incluyen actividades de apoyo dentro de las empresas como : prestaciones para empleados, mantenimiento, apoyo secretarial, laboratorios, etc.

Para que se cumpla la satisfacción del cliente, se deben cumplir dos componentes básicos de la calidad :

1. Las características del producto : propiedades del producto que se evaluarán contra las especificaciones aceptadas por el cliente: polarización, color, humedad, cenizas, turbidez, vitamina "A", etc. El mercado se segmenta en función a la calidad deseada: azúcar blanco refino, blanco superior y blanco patrón.

2. Ausencia de deficiencias : son los errores, fracasos, defectos, fuera de especificación, etc. La ausencia de deficiencias se refiere a la calidad de conformidad. La calidad de conformidad tiene un profundo impacto en los costos; una deficiencia de ella, significa mayores costos por : desperdicio, reproceso, quejas, devoluciones, etc.

1.3 Sistemas de calidad

Dos aspectos fundamentales, de todo sistema de calidad, son los que se refieren a la documentación y a las auditorías : los registros y gráficos de la calidad relativos al diseño, inspección, ensayo, vigilancia, revisión y las auditorías con sus resultados conexos, son elementos importantes de todo sistema de calidad.

La alta gerencia debe definir el sistema de calidad que será implementado, así mismo, deberá formular los planes adecuados de auditoría y control. Entre los sistemas más utilizados están :

a) Inspección final

Es la comprobación, en el producto final (azúcar), del grado de cumplimiento de las normas establecidas (criterios de calidad). Detecta defectos y errores. Aprueba o rechaza los productos defectuosos.

No evita la producción defectuosa o con errores

No reduce los altos costos por reproceso y desperdicio

b) Verificación de la calidad

Mide las características de calidad de los productos, durante y al final del proceso. Aprueba o rechaza productos e insumos defectuosos (No conformidad).

c) Control de la calidad

Al aparecer defectos en los productos, se toman medidas correctivas para evitar su repetición, pero no se llega al fondo del problema. Se reducen pero no evitan los resultados defectuosos y los altos costos de la ausencia de la calidad.

d) Aseguramiento de la calidad

Asegura la eliminación de las causas de los defectos antes que estos aparezcan. Se evita la producción con defectos y errores, se reducen enormemente los costos de no producir calidad, incrementa la calidad, los dividendos de la empresa y fundamentalmente, la satisfacción de los clientes internos y externos.

1.4 Control de calidad estadístico

”Es la rama de las matemáticas que trata de la recopilación, el análisis, la interpretación y la presentación de una gran cantidad de datos numéricos.” (Galgano, 1993)

“Es la rama del método científico que trata de lo datos reunidos al contar o medir las propiedades de alguna población”. (Merli, 1995)

1.5 El proceso de control de calidad y la formación de círculos de calidad

a) Historia

El control de calidad moderno, o como se le llama en la actualidad control de calidad estadístico (CCE), comenzó en los años 30 con la aplicación industrial del cuadro de control diseñado por el Dr. W.A. Shewhart de los Laboratorios Bell.

Lastimosamente, durante la segunda guerra mundial, la demanda de materiales y el aumento de complejidad de los sistemas de producción, hizo que la aplicación de los sistemas de los CCE lograran una mejor eficiencia bajando los costos de producción y los artículos defectuosos.

Posteriormente, Inglaterra y Japón, desarrollaron sus propios sistemas de CCE que contribuyeron en gran manera a su reconstrucción después del conflicto mundial.

b) Definición

El concepto de más alcance en la función de calidad es “Adecuado para su uso”. Todas las instituciones humanas, industrias, hospitales, escuelas, iglesias, gobiernos, están comprometidos en brindar productos o servicios para la existencia del hombre.

c) Características de la calidad

Cualquier característica, propiedad o atributo de los productos, materiales y procesos, que son necesarios alcanzar para que sean adecuados al uso. Estas se pueden agrupar de la siguiente manera :

- Tecnológicas : color, dureza, acidez, tenacidad
- Psicológicas : sabor, belleza, status
- Tiempo-Orientadas : durabilidad, mantenimiento
- Contractual : garantía de provisiones, repuestos
- Éticas : cortesía del personal, honestidad en el servicio de compras

d) Parámetros de la calidad

Esta clasificación ayuda a comprender mejor la naturaleza e interrelación de las mayores fuerzas económicas envueltas y definir más precisamente las necesidades del usuario.

- Calidad del diseño
- Calidad de conformidad
- Las habilidades
- Campo de servicio

e) Control

Es el proceso por el cual establecemos y presentamos normas. Consiste en una serie de pasos los cuales cuando son aplicados a problemas de calidad se pueden agrupar como siguen :

- Elegir el sujeto de control
- Elegir la unidad de medida y el instrumento de medición
- Establecer el valor de la norma o “standard”
- Conducir las medidas actuales
- Interpretar la diferencia entre la medida actual y la norma
- Decisión y actuación en las diferencias

f) Control de calidad

“Un sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acordes a los requerimientos de los consumidores”.

g) El Proceso de control de calidad

El control debe organizarse con base en seis categorías que han demostrado su eficacia.

- Determinar objetivos y metas
- Determinar métodos para alcanzar las metas
- Dar educación y capacitación
- Realizar el trabajo
- Verificar los efectos de la realización
- Empezar la acción apropiada

h) Garantía de calidad

En resumen, es asegurar la calidad de un producto de modo que el cliente pueda comprarlo con confianza y utilizarlo largo tiempo con confianza y satisfacción. Este proceso está basado en la responsabilidad del fabricante, en primer término, pero también incumbe al proveedor. Dentro de la empresa, la responsabilidad por la garantía de la calidad corresponde a las divisiones de diseño y manufactura y no a la inspección.

2. LA CAÑA DE AZÚCAR

2.1 Marco teórico

“ La caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*), la más noble de todas las hierbas, tiene sus raíces profundamente ancladas en la política internacional. Las políticas gubernamentales han mostrado, por siglos, una preocupación particular por las cuestiones azucareras”. (Rivero, 1979)

La caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*) fue traída a América por Cristobal Colón, en su segundo viaje a las Antillas. Se plantó por primera vez en 1493, en la isla de la Española (actualmente República Dominicana y Haití); el primer ingenio se estableció en ese mismo lugar en 1516.

Desde tiempos remotos, el azúcar ha modelado las relaciones entre las naciones exportadoras e importadoras. El azúcar se adecuaba admirablemente a una tarifa sobre los beneficios, en los países importadores, o a un derecho de exportación en las áreas de producción.

La caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*) es una materia prima con características relevantes, que la sitúan como la planta comercial de mayores rendimientos en : materia verde, energía y fibra. En plantaciones medias, puede producir 100 toneladas (1000 kilos) de materia verde por hectárea, que expresadas en términos energéticos, significan 1000 toneladas de petróleo, como consecuencia directa de su gran capacidad de fijación de la energía por medio de la fotosíntesis.

Como materia prima, al ser procesada, da origen a ocho productos primarios :

1. Residuos vegetales que se quedan en el campo
2. Residuos vegetales de centro de acopio y limpieza
3. Agua vegetal obtenida por evaporación del jugo
4. Cachaza o residuos sólidos del proceso
5. Melaza o miel final, residuos líquidos del proceso
6. Azúcar cristalizada
7. Bagazo, residuos sólidos de la molienda de la caña
8. Ceniza, residuos sólidos de la combustión de la caña

2.2 Morfología y desarrollo

La caña de azúcar es originaria de Nueva Guinea, y es cultivada en la mayor parte de las regiones tropicales y zonas subtropicales, pues no tiene ninguna otra limitación que el frío o la altitud.

Clasificación

Tipo :	Fanerógamas
Sub-tipo :	Angiospermas
Clase :	Monocotiledóneas
Orden :	Glumales
Familia :	Gramíneas
Tribu :	Andropogoneas
Género :	Saccharum

La caña de azúcar es una planta gramínea que se caracteriza porque durante su desarrollo forma un sistema vegetativo subterráneo, del cual nacen muchos tallos; a este conjunto se le conoce con el nombre de *cepa*. El tallo está formado por una serie de entrenudos y en el extremo de cada uno de ellos, están insertadas las hojas en posición alterna.

El ciclo vegetativo de la caña de azúcar comprende tres etapas :

- a. La primera llamada población del campo, corresponde al desarrollo de las cepas desde de la brotación de la primera hoja, hasta que el campo cierra (5 a 6 meses de edad). Esta etapa es la de mayor requerimiento de agua, la humedad en la planta debe estar por encima del 85%.
- b. La segunda etapa, llamada formación de tonelaje, se refiere a la formación de sacarosa y cubre desde el final de la primera etapa hasta el inicio de la maduración. La humedad en este punto debe mantenerse entre 78 y 80%.
- c. La tercera etapa o de maduración, se inicia más o menos a los nueve meses de edad. Para obtener una buena maduración la humedad debe bajar a un 73 ó 75% en la planta.

2.3 Variedades de caña

El género *Saccharum* comprende seis especies, que difieren por su desarrollo vegetativo, su riqueza en azúcar y su resistencia ante las enfermedades.

El desarrollo del cultivo de la caña noble (*S. Officinarum*) ha acarreado fuertes ataques de parásitos y enfermedades que han hecho necesaria hibridaciones con *S. Robustum*, *S. Spontaneum*, *S. Barberi*, poseedoras de genes de rusticidad, adaptabilidad,

rendimiento en peso y firmeza en el rebrote. Los híbridos producidos son designados por la sigla de la estación seleccionadora seguida a menudo del año de cruzamiento y del número de clon. Por ejemplo: B-43-62 es el 62 clon seleccionado en el año 1943 por la estación de Barbados.

En Guatemala, actualmente se está utilizando el híbrido CP-72-20-86 (Ver anexo II).

Principales estaciones experimentales y sus siglas :

Barbados, Antillas Británicas	B
Canal Point y Louisiana, USA	CP y L
India, Coimbatore	Co
Hawaii	H
Natal, Africa del Sur	N
Natal-Coimbatore	Nco
Proefstation Oost Java	POJ
Queensland	Q
Reunión	R
Cuba	U.C.W.

2.3.1 Clima

La caña de azúcar es una planta que tolera climas relativamente variados. Tiene exigencias climáticas notablemente diferentes en el curso de las dos fases principales de su ciclo : crecimiento y maduración. El crecimiento puede ser retardado o incluso suspendido por dos factores climáticos : el frío y la sequía. La madurez no se consigue o se adquiere de forma deficiente por el exceso de lluvias o por altas temperaturas nocturnas.

El área natural de la caña de azúcar corresponde a las regiones relativamente lluviosas de las zonas inter-subtropicales situadas por debajo de ciertas alturas. Su consumo de agua puede calcularse aproximadamente a partir de la evaporación media durante la fase de crecimiento. La fase de maduración se ve favorecidas por un período fresco, seco y soleado en el curso de la cosecha.

2.3.2 Temperatura

Temperatura óptima :

Germinación 22-33°C

Crecimiento 22-32°C

Temperatura mínima : 15°C

Temperatura letal : 0°C

Por debajo de 17 a 15 grados se detiene el crecimiento de la planta.

2.3.3 Luz

La caña exige una fuerte iluminación sobre todo en el amacollamiento y en la maduración.

2.3.4 Agua

La caña necesita agua en la etapa vegetativa :

150-180mm por mes de vegetación según las condiciones climáticas

1000-2000mm al año durante la temporada seca marcada que dura entre cuatro y seis meses.

2.3.5 Vientos

La caña dulce es muy sensible a los vientos violentos y desecantes.

2.3.6 Altitud

Limitada por el frío, hasta 1500 metros en la zona ecuatorial.

2.3.7 Suelos

La caña se adapta satisfactoriamente a todo tipo de suelo, desde 70% de arcilla hasta 75% de arena. Los suelos livianos y permeables favorecen la maduración y el transporte en las cosechas. Sus principales exigencias son : cierta profundidad, aeración y un pH que no sobrepase límites normales.

Los suelos más favorables presentan los siguientes caracteres :

- | | |
|------------------|---------------------------------------|
| a) Roca madre | eruptiva básica o aluviones recientes |
| b) Textura | limosa o areno arcillosa |
| c) Estructura | granulosa porosa |
| d) Profundidad | 70 centímetros |
| e) Capa freática | profunda a 1.50 metros |

2.4 Proceso de extracción de la sacarosa

La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas, uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial tanto en el continente americano como en el europeo. El azúcar se consume en todo el mundo, pues constituye una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países.

El azúcar puede obtenerse principalmente a partir de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional e internacionalmente. La sacarosa es el compuesto orgánico de mayor producción en forma pura, tiene la fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$. La sacarosa está formada por una unidad de D-glucosa y otra de D-fructosa.

2.4.1 Proceso de fabricación del azúcar

Labores de campo y cosecha

El proceso productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa de siembra de la caña. Una vez la planta madura entre los 12 y 14 meses, las personas encargadas del área de cosecha se disponen a cortarla y recogerla a través de alce mecánico y llevarla hacia los patios de caña de los ingenios.

Patios de caña

La caña que llega del campo se muestra para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

Picado de caña

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

Molienda

La caña preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. Cada molino esta equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, generalmente caliente, para extraer al máximo la sacarosa que contienen el material fibroso. Este proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se va a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos.

Pesado de jugos

El jugo diluido que se extrae de la molienda se pesa en básculas con celdas de carga para saber la cantidad de jugo sacaroso que entra en la fábrica.

Clarificación

El jugo obtenido en la etapa de molienda es de carácter ácido (pH aproximado: 5,2), éste se trata con lechada de cal, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa. La cal también ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen en el jugo y para aumentar o acelerar su poder coagulante, se eleva la temperatura del jugo encalado mediante un sistema de tubos calentadores. La clarificación del jugo por sedimentación; los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Este jugo sobrante se envía antes de ser desechada al campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica.

Evaporación

Aquí se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro que posee casi la mitad composición del jugo crudo extraído (con la excepción de las impurezas eliminadas en la cachaza) se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12 % y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60 %.

Este proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. El jugo entra primero en el preevaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar a ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así al menor punto de ebullición en cada evaporador. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura. Esta es purificada en un clarificador. La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado.

Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos para lograr la mayor concentración de sacarosa.

Centrifugación

La masa pasa por las centrífugas, máquinas agrícolas en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas se obtiene miel final que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes.

Secado

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras que son elevadores rotatorios en los cuales el azúcar se colocan en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, aproximadamente 0.05 %, para evitar los terrones.

Enfriamiento

El azúcar se seca con temperatura cercana a 60 °c, se pasa por los enfriadores rotatorios inclinados que llevan el aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta aproximadamente 40-45°C para conducir al envase.

Envase

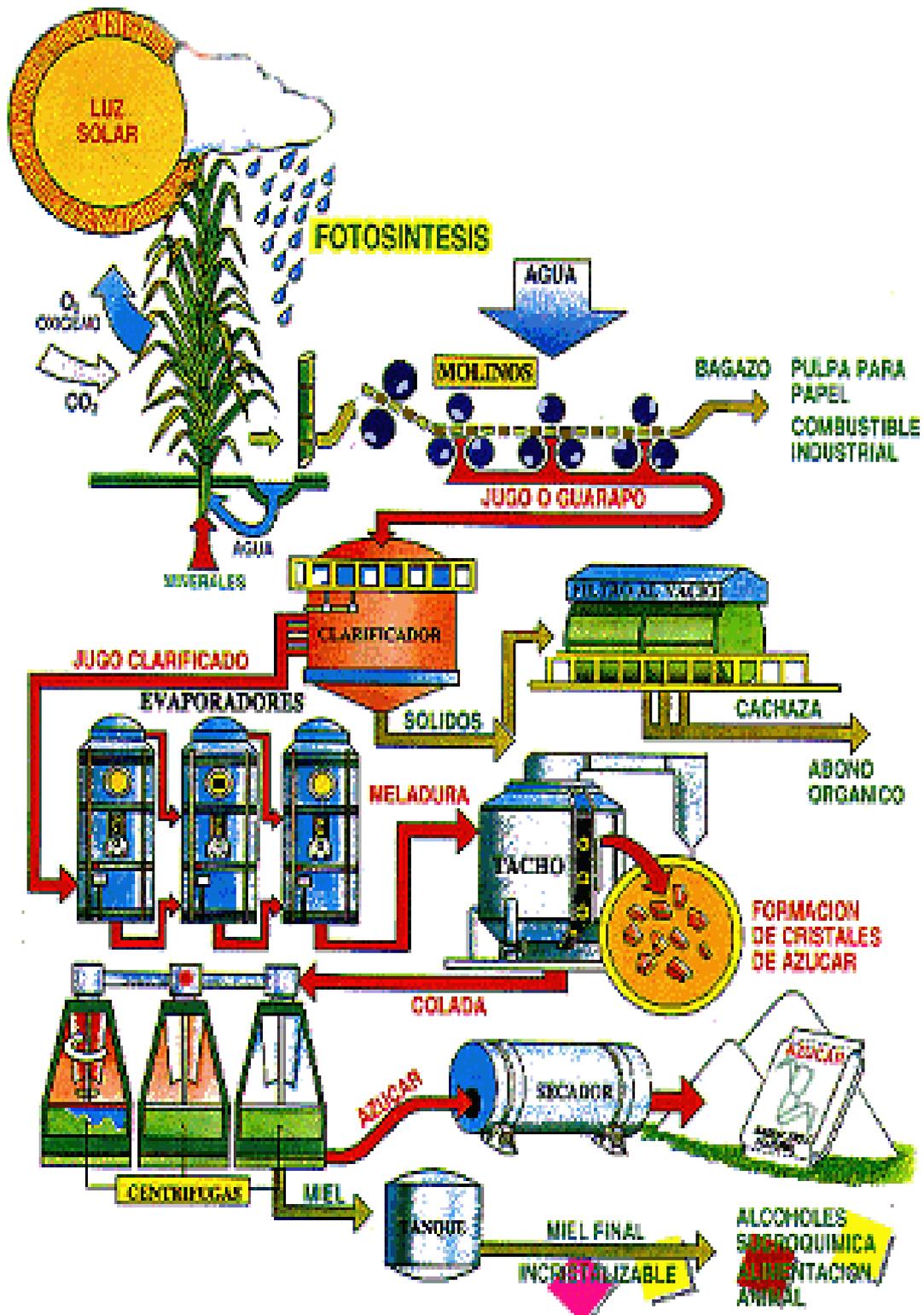
El azúcar seca y fría se empaca en sacos de diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta y comercio.

Tipos de Azúcar

El azúcar se clasifica dependiendo de los procesos aplicados a la extracción y el gusto del consumidor:

- Crudo, mascado o morena: se produce con cristales de tamaño y conserva una película de melaza que se absorbe en cada cristal.
- Blanco directo o directo especial: se producen por procesos de clarificación y su producción final se logra en una sola etapa de clarificación.
- Refinamiento: se cristaliza dos veces con el fin de lograr su máxima pureza.

Figura 1. Diagrama del proceso de fabricación de azúcar de caña



3. METODOLOGÍA

Se analizaron muestras de azúcar tipo refino usando la metodología para medición de color propuesta por ICUMSA la cual utiliza solución *buffer* de TEA/HCl y conjuntamente se analizaron las mismas muestras excluyendo la solución *buffer*, aplicando la metodología propuesta. Asimismo, se obtuvieron las curvas de referencia para sacarosa grado analítico y panela. Se determinaron por espectrofotometría las absorbancias de las muestras de las soluciones de azúcar de los tipos refino, patrón y superior, estableciéndose los rangos experimentales de calidad en color para cada uno de los tipos de azúcar.

3.1 Medios

3.1.1. Recursos humanos

El trabajo se realizó con la asesoría del licenciado Marco Tulio Urizar Moncrieff, catedrático del curso de Agroindustria de la Universidad del Valle de Guatemala y la estudiante de Ingeniería Química, Carlota Concepción Salazar Rodríguez.

3.1.2. Recursos físicos

- a) Laboratorio de Agroindustria de la Universidad del Valle de Guatemala.
- b) Bibliotecas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de la Universidad del Valle de Guatemala y Cengicaña.

3.1.3. Recursos materiales

Básicamente, corresponden al material y equipo utilizado y seleccionado de acuerdo con el análisis fisicoquímico realizado y a la metodología ICUMSA (Método GS2/3-9 1994).

Reactivos, cristalería y equipo utilizado :

10 erlenmeyer de 125ml

10 tubos de ensayo con rosca de 12x175 mm

5 varillas de agitación

10 beacker de 150 ml

10 pipetas Mohr volumétricas de 5 ml

Papel parafilm

Membranas de filtración de 0.45 μ m y diámetro de 50mm

Agua desmineralizada marca Salvavidas

Sacarosa grado analítico 4072-01 con número de lote M25593 y marca JT Baker

Solución *buffer* de TEA/HCl elaborado por Laboratorio Láser

HCl 0.1M Titrisol 1.09973 marca MERCK OC105339

NaOH 0.1M Titrisol 1.09959 marca MERCK OC252961

Desecadora de vidrio

Espectrofotómetro Hewlett Packard modelo 5483E digital

Espectrofotómetro Turner SP-870 modelo # SM 110235

Potenciómetro pH / mV / temperatura marca Corning modelo 445

Balanza analítica con precisión de 0.1mg a 0.1g marca

METTLER TOLEDO modelo AB54 - S

Refrigeradora marca VWR modelo 55703 – 101 20.7 pies
Bomba de vacío marca General Electric modelo 5KH33DN16JX
Horno marca THELCO modelo 51221152 (40 a 250°C) 2.5 pies
Baño de ultrasonido marca BRANSON 2510 modelo 2.8L

3.2 Diseño del método de muestreo

3.2.1. Selección de los sitios de muestreo

La selección de los sitios de muestreo se hizo según a los objetivos planteados en este estudio. Se estudiaron 14 muestras de azúcar de cada uno de los tipos refino, patrón y superior de los ingenios de Guatemala y se compraron muestras de azúcar refino en diversos supermercados de la capital para completar este número. Para determinar el número de muestras a evaluar se utilizó una tabla de números aleatorios de donde se obtuvieron los datos para este estudio.

3.3. Determinación de color de una solución de azúcar blanco. Método ICUMSA GS2/3 – 9 (1994)

3.3.1. Objetivo

Determinar el color de una solución de azúcar blanco (refino)

3.3.2. Campo de aplicación

Este método puede ser aplicado a todos los azúcares blancos cristalinos o pulverizados, a condición que una solución prueba filtrada pueda ser preparada por el procedimiento especificado en el método. El método no

es adecuado para aquellos azúcares que contienen materia coloreada , turbidez o aditivos, a tal grado que la filtración no sea práctica.

3.3.3 Definiciones

a) Transmitancia de la solución

Si I_1 representa la energía radiante que incide sobre la primera superficie de la solución e I_2 representa la energía radiante que deja la segunda superficie de la solución. Entonces :

$$T = I_2 / I_1 = \text{transmitancia de la solución}$$

b) Transmitancia

Representemos T_{soln} como la transmitancia de una celda que contiene la solución y representamos T_{solv} como la transmitancia de la misma o celda duplicada que contiene el solvente puro. Entonces :

$$T_s = T_{\text{soln}} / T_{\text{solv}} = \text{transmitancia de la solución}$$

c) Absorbancia

$$A_s = -\log_{10} T_s = \text{absorbancia de la solución}$$

d) Índice de absorbancia

Representemos como b la longitud, (cm), del paso de absorbancia entre las dos superficies de la solución y representemos como c la concentración, (g/ml), de la solución de azúcar. Entonces :

$$a_s = A_s / bc = \text{índice de absorbancia de la solución}$$

e) Color ICUMSA

El valor del índice de absorbancia multiplicado por 1000 se reporta como color ICUMSA. Los valores resultantes son designados como unidades ICUMSA (IU).

3.3.4. Principio

El azúcar se disuelve en una solución *buffer* para ajustar la solución a pH = 7, después se filtra a través de un filtro de membrana para remover la turbiedad. La absorbancia de la solución filtrada es medida a una longitud de onda de 420nm y el color de la solución es calculado.

3.3.5. Reactivos

Utilizar reactivos grado analítico y solamente agua destilada o agua de pureza equivalente.

- Solución de ácido clorhídrico 0.1 M
- Solución de trietanolamina 0.1M. Disolver 7.460g de trietanolamina líquida en agua, transferir a un matraz volumétrico de 500ml y aforar con agua.
- Solución *buffer* de Trietanolamina / Acido Clorhídrico (TEA/HCl). Preparar la solución buffer un día antes de usar y guardar en un refrigerador a aproximadamente 4°C. Estabilizar la solución a temperatura ambiente antes de usar. Mida el pH del buffer antes de usar y ajuste, si es necesario, a pH 7 con solución de ácido clorhídrico.

3.3.6 Procedimiento

- Preparación de la muestra

Mezclar la muestra de azúcar vigorosamente. Pesar 50g de azúcar y 50ml de la solución buffer de TEA/HCl, en un matraz cónico de 250ml y disolver por agitación a temperatura ambiente. Filtrar la solución muestra por medio de vacío a través de un filtro de membrana (6.3), en un matraz cónico limpio y seco. Si las soluciones filtran lentamente utilizar ayuda filtrante. Desgasificar la solución filtrada por 1 hora en un horno de vacío. Alternativamente desgasificar por inmersión del matraz cónico, que contiene la solución de azúcar, en un baño ultrasónico por 3 minutos.

- Medición del color

Preparar el instrumento de medición de color (6.1) de acuerdo a las instrucciones del fabricante y ajustar la longitud de onda a 420nm. Enjuagar la celda de medición con solución de azúcar y después llenar . Determinar la absorbancia de la solución utilizando solución buffer TEA/HCl desgasificada y filtrada como estándar de referencia para color cero.

3.4. Determinación de color de una solución de azúcar blanco. Método alternativo

3.4.1. Procedimiento

- Preparación de la muestra

Mezclar la muestra de azúcar vigorosamente. Pesar 50g de azúcar y 50ml de agua en un matraz cónico de 250ml y disolver por agitación a temperatura

ambiente. Filtrar la solución muestra por medio de vacío a través de un filtro de membrana , en un matraz cónico limpio y seco. Si las soluciones filtran lentamente utilizar ayuda filtrante. Limpiar y secar el electrodo del potenciómetro y sumergirlo en la solución de azúcar. Si es necesario desgasificar la solución filtrada por 1 hora a temperatura constante en un horno al vacío o en una desecadora de evacuado. Alternativamente desgasificar por inmersión del matraz cónico, que contiene la solución de azúcar, en un baño ultrasónico por 3 minutos.

- Medición del color

Preparar el instrumento de medición de color de acuerdo a las instrucciones del fabricante y ajustar la longitud de onda a 420nm. Enjuagar la celda de medición con solución de azúcar y después llenar . Determinar la absorbancia de la solución utilizando agua destilada y filtrada como estándar de referencia para color cero.

Se utilizará como patrón de comparación cristales de sacarosa grado analítico 4072-01, con número de lote M25593 y marca JT Baker.

4. RESULTADOS

De acuerdo a las absorbancias obtenidas para las muestras de azúcar tipo refino, utilizando los dos métodos, se aplicó una prueba de “ *t de student* ” con N-1 grados de libertad. Los resultados demuestran que la *t* obtenida es menor a la *t* crítica, lo cual indica que el método propuesto es confiable. Los cálculos se presentan en el tabla IV (ver apéndice II, sección de datos calculados). A partir de los datos obtenidos con el método alternativo se calcularon la media y la desviación estándar para así establecer los rangos de variación experimental para el azúcar tipo refino (ver figura 2)

De algunas muestras de azúcar tipo refino, utilizando ambos métodos, se obtuvieron sus espectros de absorción entre 360nm y 720nm, observándose la formación de curvas semejantes. (ver apéndice IV, figuras 11 - 18).

Así mismo, se corrió un control de sacarosa grado analítico para los dos métodos, obteniéndose lecturas de absorbancias de cero. Estas muestras se corrieron de acuerdo a lo recomendado por el método analítico (ICUMSA). Los espectros de absorción entre 360 nm y 720 nm, obtenidos para este control reflejan la semejanza significativa del comportamiento de la muestra. (ver apéndice IV, figuras 6 - 9).

También se hicieron corridas con panela en soluciones al 5% y se obtuvo su espectro de absorción en el rango de 360nm a 720nm. (ver apéndice IV, figura 10).

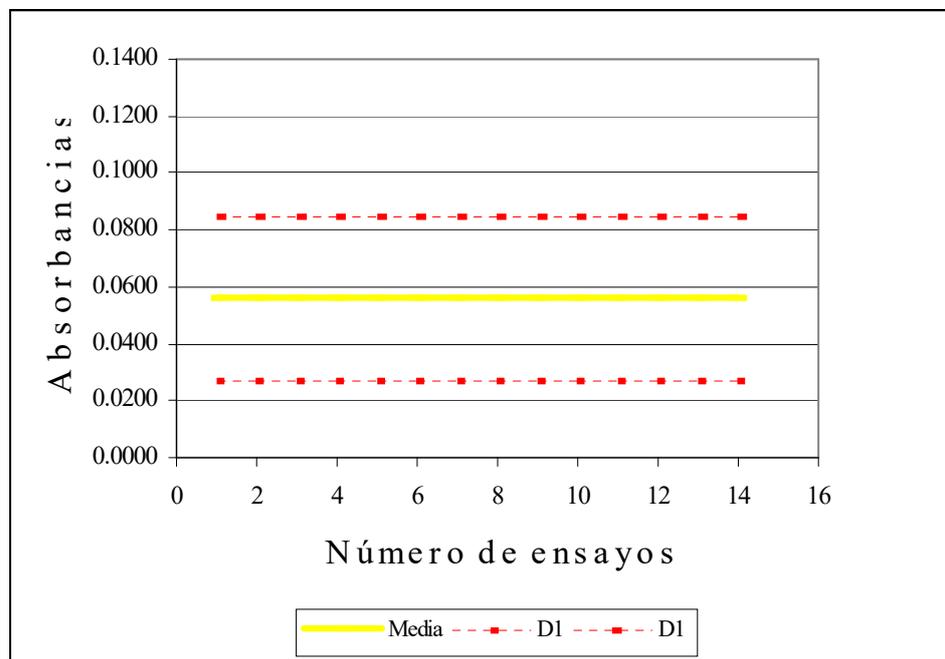
Para la evaluación de los azúcares tipo patrón y superior, se aplicó el método espectrofotométrico ICUMSA ya que en este método no es necesario utilizar una solución *buffer* de TEA/HCl. Con las lecturas de absorbancias se obtuvo la media y la desviación estándar , para cada uno de los tipos de azúcar. Con estos datos se

establecieron los rangos de variación experimental de las absorbancias para los límites de acción permitidos del producto (ver figuras 3 y 4).

Los espectros de absorción de muestras de los azúcares tipo patrón y superior se pueden observar en el apéndice IV (ver figuras 19 – 27).

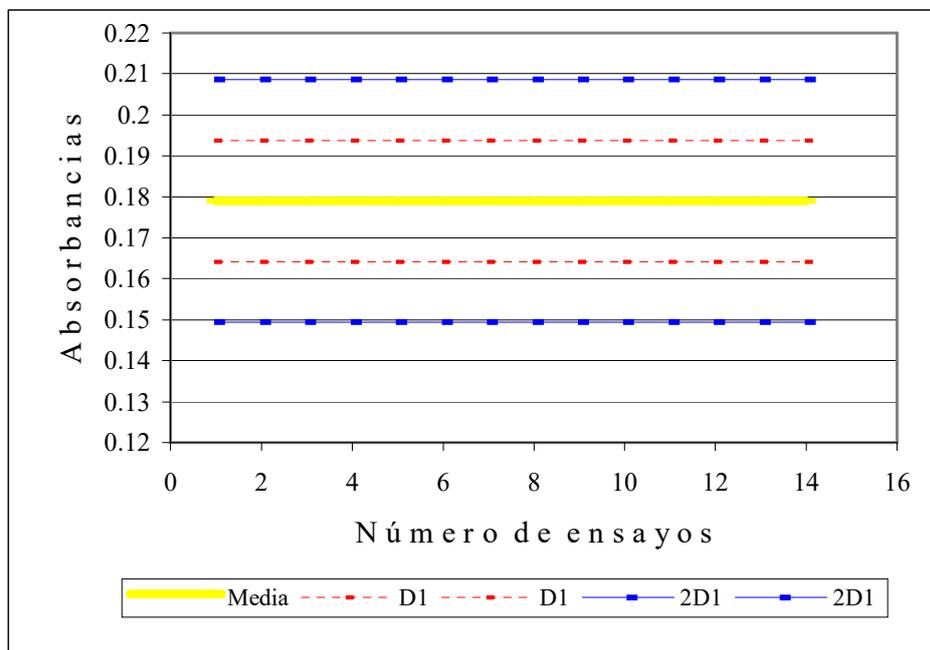
En la figura 5, se puede observar la recta más satisfactoria al comparar las lecturas espectrofotométricas obtenidas mediante los métodos ICUMSA GS2/3 – 9 y el alternativo propuesto para mediciones de color en soluciones de azúcar refino. La ecuación obtenida para la recta es $Abs_{alternativa} = 0.828 Abs_{ICUMSA} + 0.024$, con desviaciones estándares de la pendiente de 0.2 y de la ordenada al origen de 0.01.

Figura 2. Rangos de variación experimental para la evaluación de absorbancias en soluciones de azúcar refinado utilizando agua desmineralizada



D1 : una desviación (95% nivel de confianza)

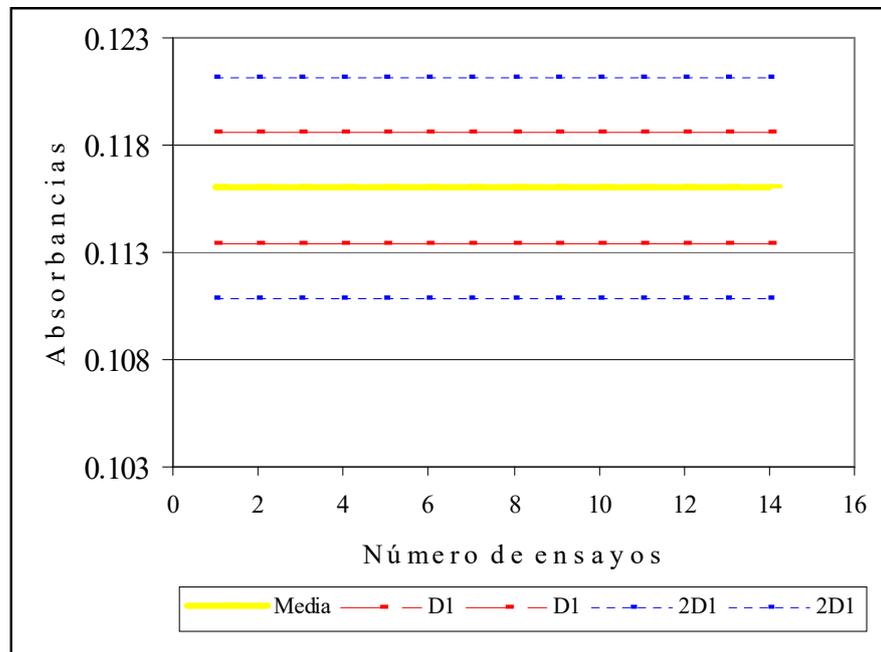
**Figura 3. Rangos de variación experimental para la evaluación de absorbancias
En soluciones de azúcar patrón según método ICUMSA GS1 - 7**



D1 : una desviación (95% nivel de confianza)

2D1 : dos desviaciones (90% nivel de confianza)

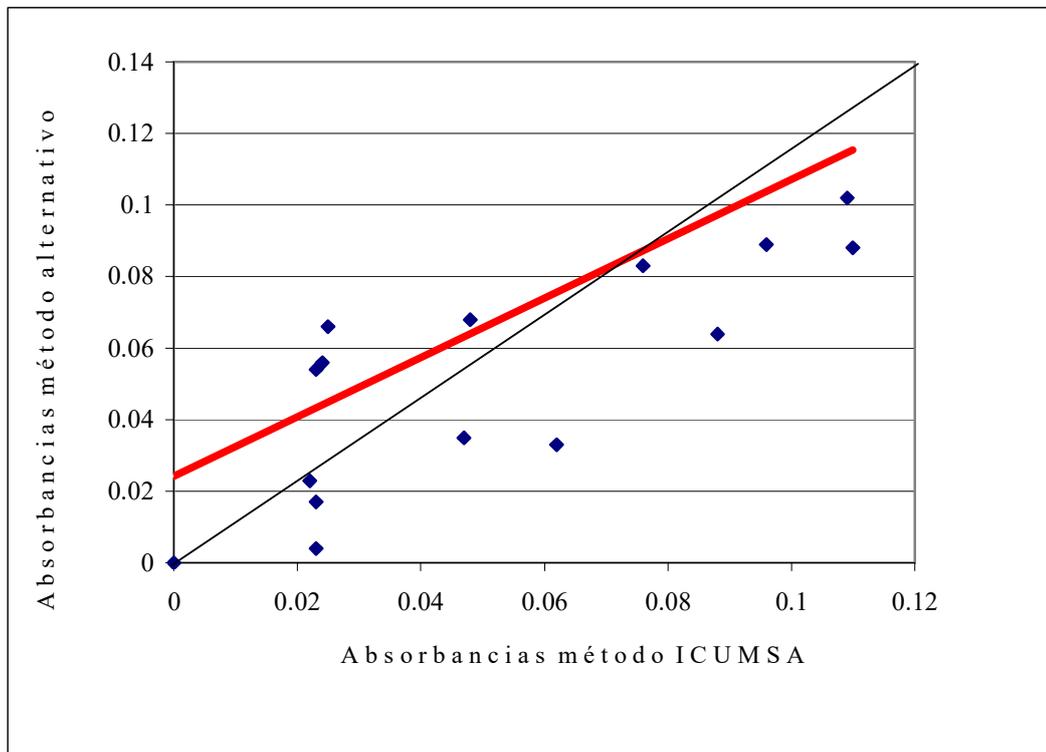
Figura 4. Rangos de variación experimental para la evaluación de soluciones de azúcar superior según método ICUMSA GS1 - 7



D1 : una desviación (95% nivel de confianza)

2D1 : dos desviaciones (90% nivel de confianza)

Figura 5. Evaluación de la incertidumbre en la medición de las absorbancias al comparar las lecturas espectrofotométricas de los métodos ICUMSA y el alternativo propuesto al medir color en soluciones de azúcar refinado (pH = 7, T = 22°C)



$$\text{Abs alternativa} = 0.828 (0.2) \text{ Abs ICUMSA} + 0.024 (0.01)$$

5. DISCUSIÓN

El color del azúcar está referido a sustancias que absorben cierta cantidad de energía luminosa a una longitud de onda de 420 nm. Para evitar absorbancias indeseables por partículas en suspensión, se filtran las soluciones a través de una membrana de 0.45 μm . En esta longitud de onda absorben energía distintos grupos funcionales entre ellos, el grupo funcional tipo fenólico que es la asociación de grupo aromático (benceno) con grupo hidroxilo (alcohol). Otro tipo de sustancias inorgánicas como soluciones de hierro III también absorben en esta longitud de onda.

El color del azúcar está influenciado por los distintos pasos del proceso agroindustrial (materia prima, procesos de fabricación y almacenamiento). Debido a estas circunstancias el color del azúcar tiende a sufrir cambios, incrementándose con el transcurso del tiempo. El grado de deterioro del color del azúcar varía en cada uno de los tipos de azúcar producidos.

En este estudio se propone una metodología fácil y rápida para la medición de este parámetro en el azúcar tipo refino, el cual es evidentemente importante para la comercialización del azúcar a nivel nacional e internacional.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que existe la factibilidad de realizar análisis espectrofotométricos de muestras de azúcar refino utilizando únicamente agua desmineralizada como disolvente. Esto evita el uso de solución buffer de trietanolamina / ácido clorhídrico (TEA/HCl), el cual es de costo elevado y poca durabilidad. La preparación de esta solución es bastante engorrosa pues se debe hacer con un día de anticipación y conservarse en refrigeración a una temperatura aproximadamente de 4°C. La solución se debe estabilizar a temperatura ambiente antes de utilizarla, para que tenga una vida útil de una semana como máximo.

La comparación de los datos obtenidos demuestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la medición espectrofotométrica según el método ICUMSA y el propuesto.

Además, se proponen los rangos de variación experimental para el establecimiento de curvas de control de calidad para los tres tipos de azúcar, que pueden ser utilizadas durante el proceso de producción y al final del mismo, así como su uso para el control de estabilidad de producto almacenado (Ver Sección de Resultados, Figuras 2,3 y 4).

Al evaluar la incertidumbre en la lectura espectrofotométrica del método alternativo, se observó que la absorbancia en éste es inversamente proporcional a la lectura de absorbancia en el método ICUMSA.

El presente estudio evaluó la etapa del proceso en la determinación del color correspondiente al método ICUMSA, otras etapas del proceso deberán ser en igual forma evaluadas, como lo sería el estudio de la variación de la concentración, densidad y grados brix.

CONCLUSIONES

1. No existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) entre las lecturas de las muestras leídas con *buffer* de TEA/HCl y las tratadas solamente con agua desmineralizada.
2. El tratamiento de muestras con agua desmineralizada causa disminución de costos y de tiempo.
3. Se establecieron espectrofotométricamente los rangos de variación experimental de las absorbancias para la evaluación de calidad de las muestras de azúcar de los tipos refino, patrón y superior.
4. Las curvas de absorción de cada una de las muestras y el control de sacarosa grado analítico, no presentan picos de absorbancias después de los 420nm.
5. Al evaluar la incertidumbre en la lectura espectrofotométrica del método alternativo, se observó que no existe paralelismo en la respuesta, lo que implica que la absorbancia tenderá a ser menor en el método alternativo.
6. Los espectros de absorción de los tres tipos de azúcar demuestran que la longitud de onda a la cual los contaminantes poseen máxima absorbancia es por debajo de los 420 nm.

RECOMENDACIONES

1. Se puede utilizar agua desmineralizada para la medición del color del azúcar tipo refino.
2. Se sugiere continuar realizando corridas con el procedimiento propuesto, aumentando el número de muestras para así obtener datos más confiables.
3. Capacitar al personal en el uso de esta metodología para obtener resultados más rápidos durante el proceso de producción de este tipo de azúcar.
4. Realizar monitoreos periódicos en los diversos centros de distribución, supermercados, comercios y abarroterías que vendan este producto para establecer si existen cambios de color en el azúcar.
5. Realizar un estudio de t y movimientos en la determinación espectrofotométrica de color para continuar completando la factibilidad técnica del método alternativo al ICUMSA.
6. Estudiar la determinación de unidades ICUMSA (IU) de color en función del método alternativo al ICUMSA GS2/3-9 (1994), ya que la concentración, densidad y el brix son factores utilizados en la determinación del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Christian, Gary. **Análisis instrumental química analítica**. Segunda edición. Editorial Limusa. México, s.a. 95pp.
2. Dobles, Roberto. Calidad, ingrediente vital para competir. **Revista panorama internacional** (marzo) 1994. 128 pp
3. Evans, James R. / William M. Lindsay. **Administración y control de la calidad** (México: Grupo editorial Iberoamerica, 1995) 102 pp.
7. Galgano, Alberto. **Calidad total**. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España, 1993. 145 pp.
5. Graf y Saguy. **Food product development**. Editorial Van Nostrand Reinhold. Estados Unidos, 1991. 425 pp.
8. Harris, Daniel. **Análisis químico cuantitativo**. Tercera edición. Estados Unidos, s.a. 356 pp.
7. Hugot, E. **Manual para ingenieros azucareros**. Editorial Continental, 1982. 759pp.
8. Junquera, Rafael. Documentos para la Historia de Industria Azucarera. **Revista azúcar**. Suplemento No. 1 México, 1981. 45 pp.
9. Merli, Giorgio. **La calidad total como herramienta de negocio**. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España, 1995. 450 pp.
10. Morrison y Boyd. **Química orgánica**. Quinta edición. Impreso en Estados Unidos, 1996. 968 pp.

11. Pagano, Robert. P. **Estadística para las ciencias del comportamiento.** International Thomson Editores, S.A. de C.V. Quinta edición. México, 1999. 548 pp.
12. Penagos Dardón, Sergio. **Aseguramiento de la calidad en la caña de azúcar.** (octubre 1999) 157 pp.
13. Perry, J.H. **Chemical engineers handbook.** Cuarta edición. Impreso en Estados Unidos, 1963. 1750pp.
14. Rivero, Nicolás. El mundo de la política azucarera. **Sugar y azúcar yearbook.** (1979). 170 pp.
15. Rodríguez Santamaría, Alfonso. **Calidad total.** Editorial Instituto Superior de Estudios Empresariales, S.A. España, 1994. 395 pp.
16. Strobel, Howard. **Análisis instrumental : instrumentación química , estudio sistemático del análisis instrumental.** Editorial Limusa. México, 1982. 521 pp.

APÉNDICE I

DATOS ORIGINALES

Tabla I. Comparación de las absorbancias obtenidas con cada uno de los métodos para azúcar refino

Muestra	Método ICUMSA	Método Alternativo
1	0.109	0.102
2	0.110	0.088
3	0.076	0.083
4	0.096	0.089
5	0.062	0.033
6	0.088	0.064
7	0.047	0.035
8	0.048	0.068
9	0.022	0.023
10	0.023	0.017
11	0.024	0.056
12	0.023	0.054
13	0.025	0.066
14	0.023	0.004

Tabla II. Absorbancias obtenidas para los azúcares tipo patrón y superior

Muestra	PATRON Método ICUMSA / Alternativo	SUPERIOR Método ICUMSA / Alternativo
1	0.198	0.112
2	0.169	0.114
3	0.197	0.117
4	0.165	0.115
5	0.189	0.120
6	0.189	0.114
7	0.198	0.115
8	0.182	0.116
9	0.167	0.121
10	0.153	0.117
11	0.171	0.118
12	0.169	0.113
13	0.192	0.114
14	0.167	0.115

APÉNDICE II

DATOS CALCULADOS

Tabla III. Diferencias obtenidas a partir de la comparación de las absorbancias del azúcar tipo refino con cada uno de los métodos

Muestra	Método ICUMSA	Método Alternativo	D	D²
1	0.109	0.102	0.007	4.9E-5
2	0.110	0.088	0.022	0.000484
3	0.076	0.083	-0.007	4.9E-5
4	0.096	0.089	0.007	4.9E-5
5	0.062	0.033	0.029	0.000841
6	0.088	0.064	0.024	0.000576
7	0.047	0.035	0.012	0.000144
8	0.048	0.068	-0.02	0.0004
9	0.022	0.023	-0.001	0.000001
10	0.023	0.017	0.006	3.6E-5
11	0.024	0.056	-0.032	0.001024
12	0.023	0.054	-0.031	0.000961
13	0.025	0.066	-0.041	0.001681
14	0.023	0.004	0.019	0.000361

Tabla IV. Variables calculadas para la aplicación del método estadístico “t de student” para datos correlacionados del azúcar tipo refino

D_{obt}	SC_D	t_{obt}	t_{crit}
-0.00043	0.006653	-0.07088	2.160

Tabla V. Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo refino

Media (X)	Desviación Estándar (S)
0.0559	0.0288

Tabla VI. Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo patrón

Media (X)	Desviación Estándar (S)
0.179	0.01480

Tabla VII. Media y desviación estándar de los datos obtenidos para el azúcar tipo superior

Media (X)	Desviación Estándar (S)
0.116	2.59E-3

Tabla VIII. Cálculos para el análisis de mínimos cuadrados

Y_i	x_i	$Y_i x_i$	x_i^2	D_i	d_i^2
0.102	0.109	0.01111	0.011881	3.9567E-5	1.57E-9
0.088	0.110	0.00968	0.0121	-0.0148360	0.00022
0.083	0.076	0.006308	0.005776	0.00993559	9.87E-5
0.089	0.096	0.008544	0.009216	-0.0015771	2.49E-6
0.033	0.062	0.002046	0.003844	-0.0278054	0.000773
0.064	0.088	0.005632	0.007744	-0.0195720	0.000383
0.035	0.047	0.001645	0.002209	-0.0126709	0.000161
0.068	0.048	0.003264	0.002304	0.01945342	0.000378
0.023	0.022	0.000506	0.000484	-0.0027800	7.73E-6
0.017	0.023	0.000391	0.000529	-0.0096556	9.32E-5
0.056	0.024	0.001344	0.000576	0.02846871	0.00081
0.054	0.023	0.001242	0.000529	0.02734435	0.000748
0.066	0.025	0.00165	0.000625	0.03759308	0.001413
0.004	0.023	0.000092	0.000529	-0.0226556	0.000513

APÉNDICE III

MUESTRA DE CÁLCULO

1. Cálculo de la t de student para datos correlacionados del azúcar tipo refino

Se utilizó la siguiente ecuación :

$$t_{obt} = \frac{D_{obt} - \mu}{\sqrt{[(SCD) / N(N-1)]}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

en donde $\mu = 0$

$$D_{obt} = \frac{\Sigma D}{N} = \frac{(-0.006)}{14} = -0.00043$$

$$SCD = \frac{\Sigma D^2}{14} - \frac{(\Sigma D)^2}{14} = \frac{(0.006656)}{14} - \frac{(0.000036)}{14} = 0.006653$$

Sustituyendo datos en la Ecuación 1, se obtiene :

$$t_{obt} = \frac{-0.00043}{\sqrt{[(0.006653) / (14 \times 13)]}} = -0.07088$$

Si $|t_{obt}| \geq |t_{crit}|$, se rechaza H_0

De la tabla I del anexo I, con $\alpha = 0.05$ (2 colas) y $n-1$ grados de libertad ,

$$t_{crit} = \pm 2.160$$

2. Cálculo de la media y desviación estándar para los azúcares tipo refino, patrón y superior

Para el cálculo de la media se utilizó la siguiente ecuación :

$$X = \frac{\Sigma (\text{Todos los datos})}{N} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Al sustituir en la Ec. 2, los datos del azúcar tipo patrón se obtiene :

$$X = \frac{2.506}{14} = 0.179$$

De la misma forma se realizó el cálculo de la media para los datos del azúcar tipo refino y superior.

Para el cálculo de la desviación estándar se utilizó la siguiente ecuación :

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (X_i - X)^2}{N - 1}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Sustituyendo en la Ec. 3 los datos para el azúcar tipo patrón, se obtiene :

$$S = \sqrt{\frac{0.002848}{13}} = 0.01480$$

De la misma forma se realizó el cálculo de S para los datos del azúcar tipo refino y superior.

3. Método de mínimos cuadrados para encontrar la “mejor recta”

Para la evaluación de la incertidumbre de las absorbancias obtenidas al aplicar el método oficial y el alternativo, se utilizó el método de mínimos cuadrados. Las absorbancias obtenidas con el método alternativo son tomadas como ordenadas (valores y) y las obtenidas con el método ICUMSA como abcisas (valores de x).

A partir de los valores de la tabla I, se obtuvieron las sumatorias de x y y :

$$\Sigma x_i = 0.776$$

$$\Sigma y_i = 0.782$$

De igual forma se obtuvo la sumatoria de x_i elevado al cuadrado :

$$\Sigma(x_i^2) = 0.058346$$

La sumatoria de $x_i y_i$ se obtuvo al multiplicar cada uno de los valores de x y y , entre sí :

$$\Sigma x_i y_i = 0.053$$

Para el cálculo de la pendiente y de la ordenada al origen de la mejor recta se utilizaron las siguientes ecuaciones :

$$m = \frac{\begin{vmatrix} \Sigma x_i y_i & \Sigma x_i \\ \Sigma y_i & n \end{vmatrix}}{D} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma x_i \\ \Sigma x_i & \Sigma y_i \end{vmatrix}}{D} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

donde el número D está dado por :

$$D = \begin{vmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma x_i \\ \Sigma x_i & n \end{vmatrix} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Al sustituir datos en las ecuaciones 4, 5 y 6, se obtuvieron los siguientes datos :

$$D = 0.1711 \qquad m = 0.828 \qquad b = 0.024$$

A partir de estos datos se obtuvo la ecuación de la mejor línea recta que pasa por los puntos de la figura 5 :

$$Y = 0.828X + 0.024$$

Para estimar las incertidumbres (expresadas como desviaciones estándares) en la pendiente y ordenada al origen, fue necesario realizar el siguiente cálculo :

$$\sigma y^2 = \frac{\sum di^2}{n - 2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Sustituyendo valores en la ecuación 7 :

$$\sigma y^2 = 0.00047$$

para el cálculo de las desviaciones se utilizaron las siguientes ecuaciones :

$$\sigma m = \sqrt{\frac{(\sigma y^2) n}{D}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\sigma b = \sqrt{\frac{(\sigma y^2) \sum (xi^2)}{D}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones 8 y 9 :

$$\sigma m = 0.2 \quad \sigma b = 0.01$$

Combinando los resultados de m , σm , b y σb se puede escribir :

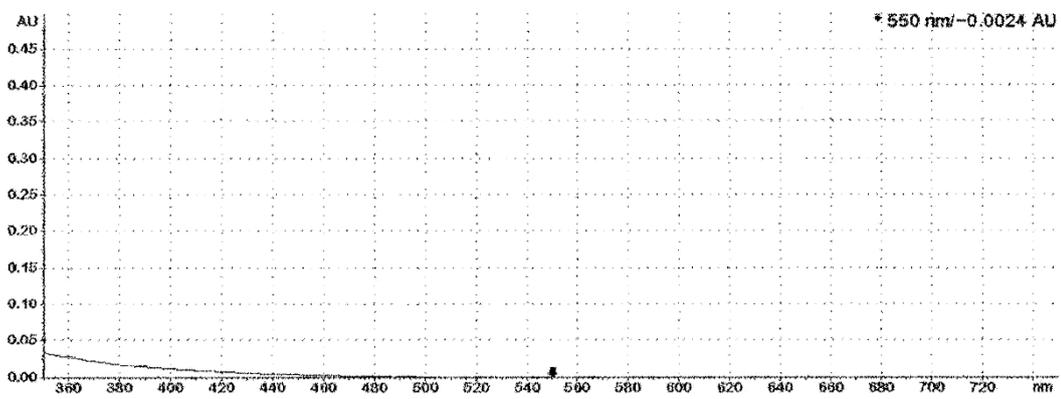
$$\text{Pendiente : } 0.827797 \pm 0.2$$

$$\text{Ordenada al origen : } 0.024196 \pm 0.01$$

APÉNDICE IV

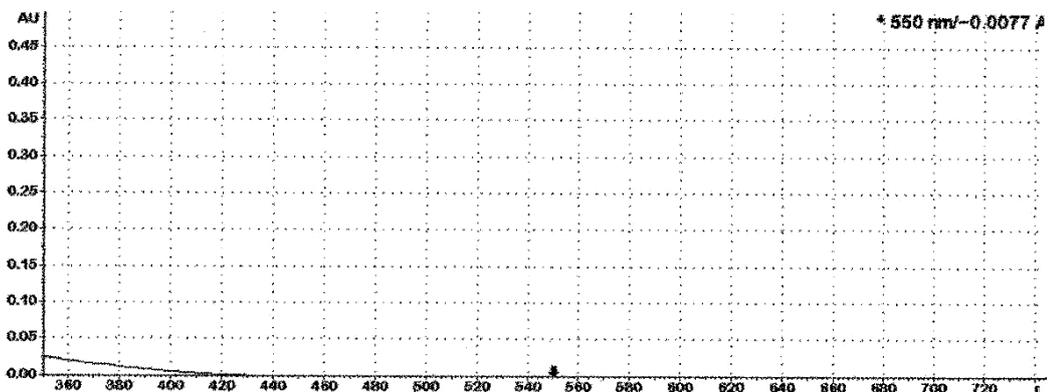
ESPECTROS DE ABSORCIÓN

Figura 6. Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-1-A) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



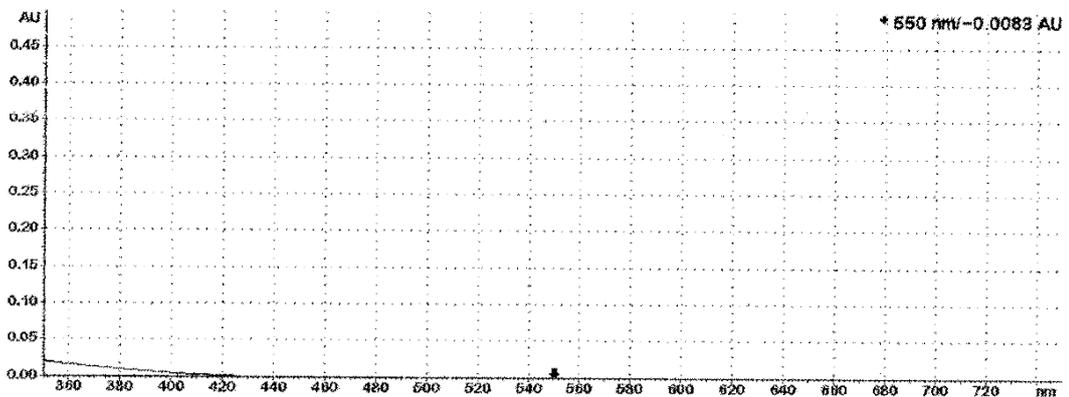
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 7. Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-2-A) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



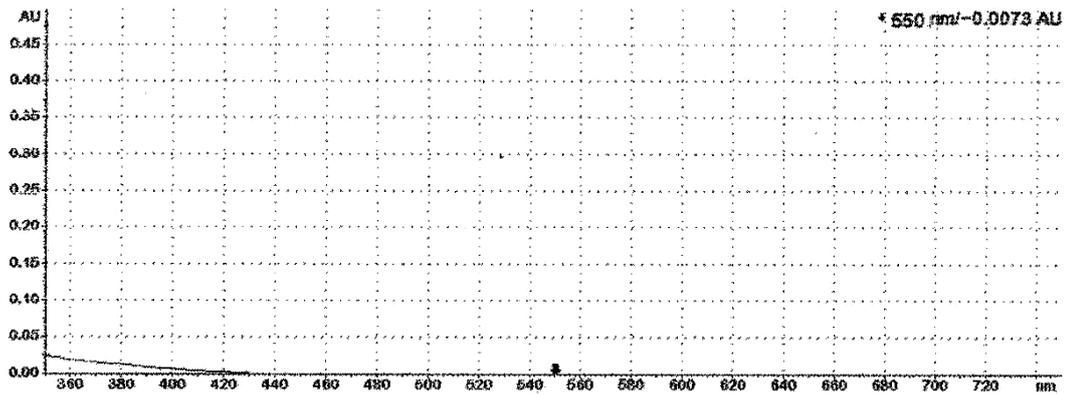
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 8. Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-1-B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



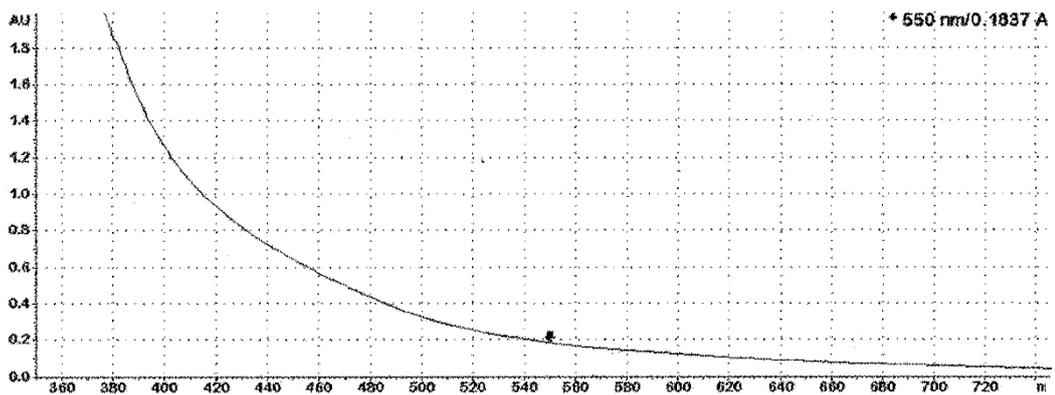
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala

Figura 9. Espectro de absorción de la sacarosa grado analítico (ST-2-B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



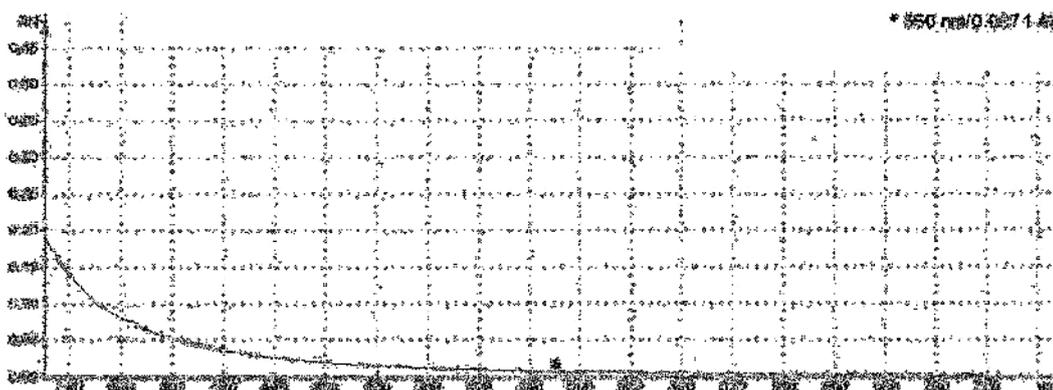
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 10. Espectro de absorción de la panela utilizando como disolvente agua desmineralizada



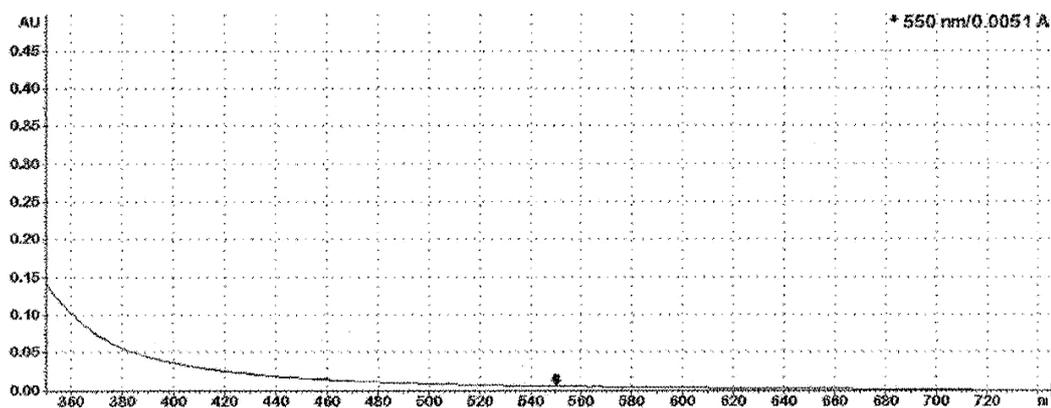
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 11. Espectro de absorción del azúcar refinado (R1-50B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



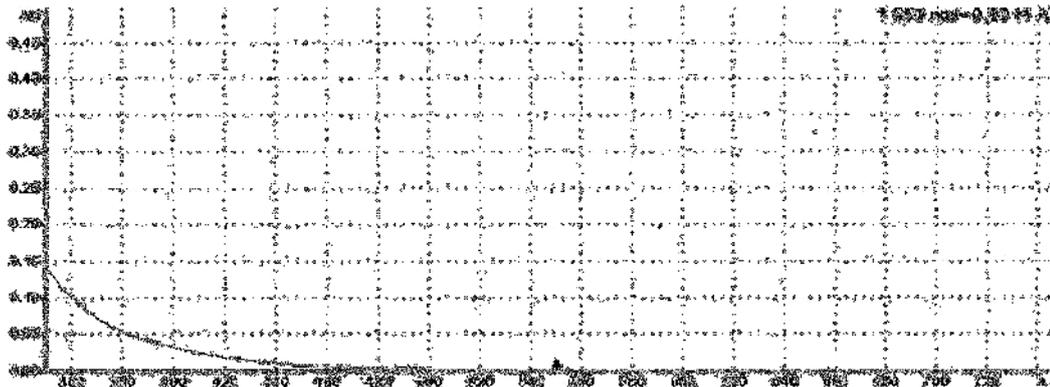
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 12. Espectro de absorción del azúcar refinado (R1-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



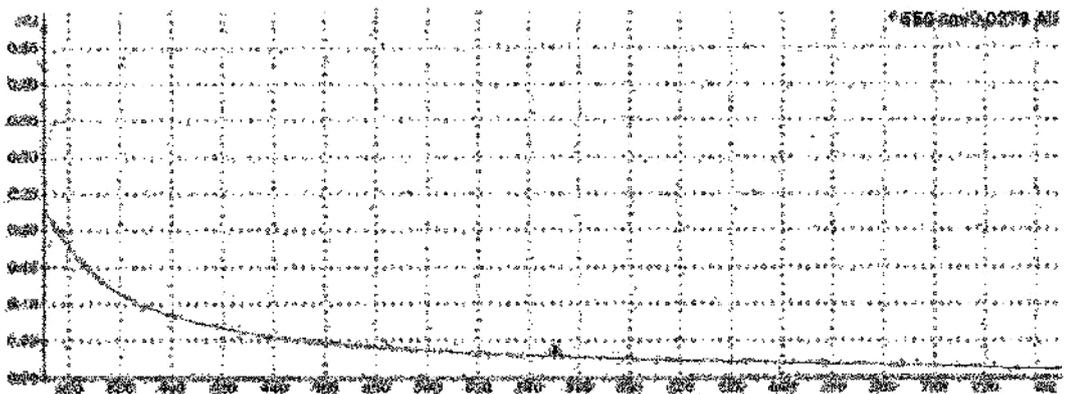
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 13. Espectro de absorción del azúcar refinado (R2-50B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



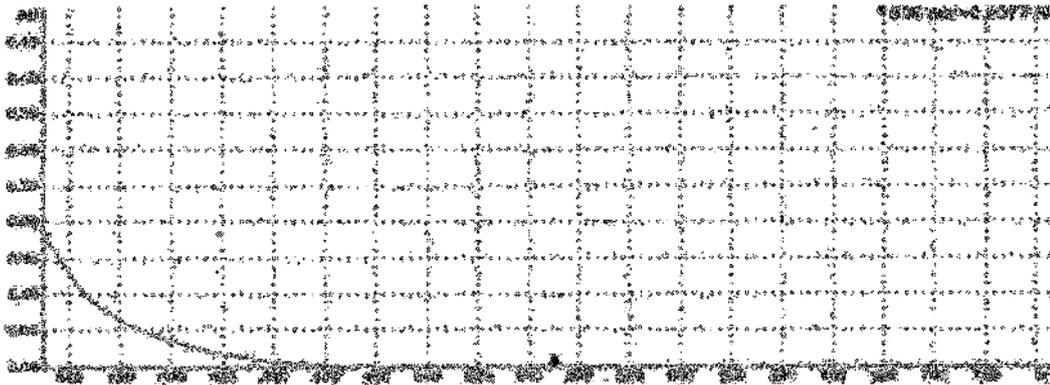
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 14. Espectro de absorción del azúcar refinado (R2-50A) utilizando como disolvente agua demineralizada (pH = 7, T = 22°C)



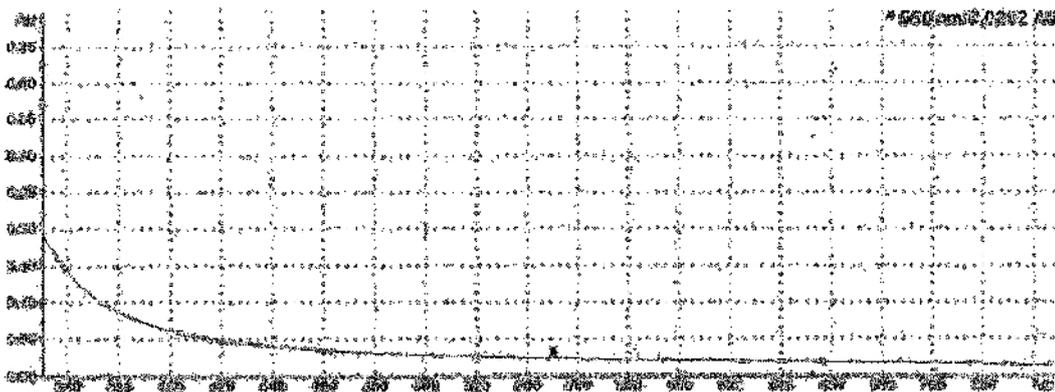
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 15. Espectro de absorción del azúcar refinado (R3-50B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



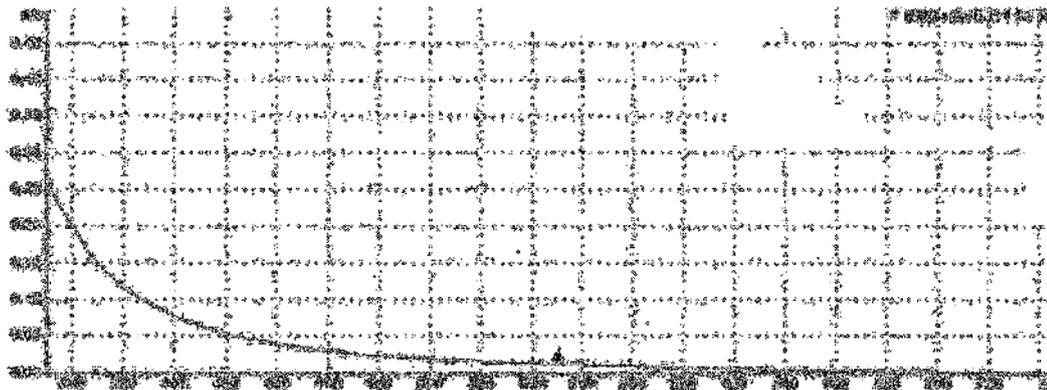
Fuente : espectrofómeto HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 16. Espectro de absorción del azúcar refinado (R3-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



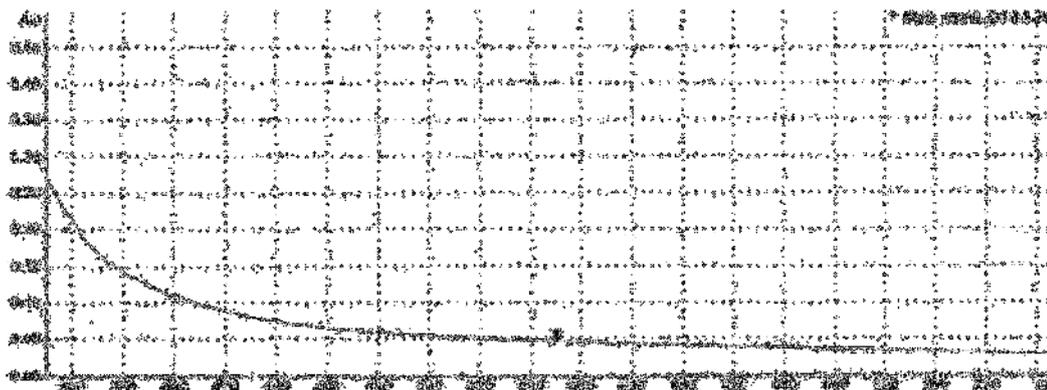
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 17. Espectro de absorción del azúcar refinado (R4-50B) utilizando como disolvente solución buffer de TEA/HCl (pH = 7, T = 22°C)



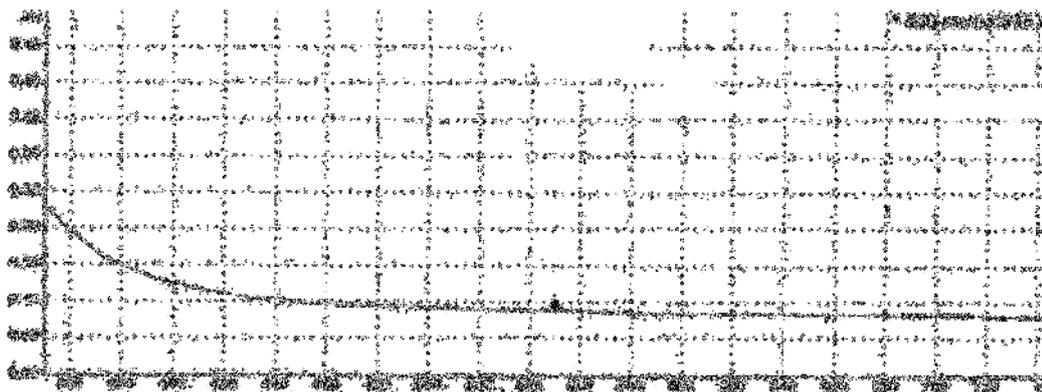
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 18. Espectro de absorción del azúcar refinado (R4-50A) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



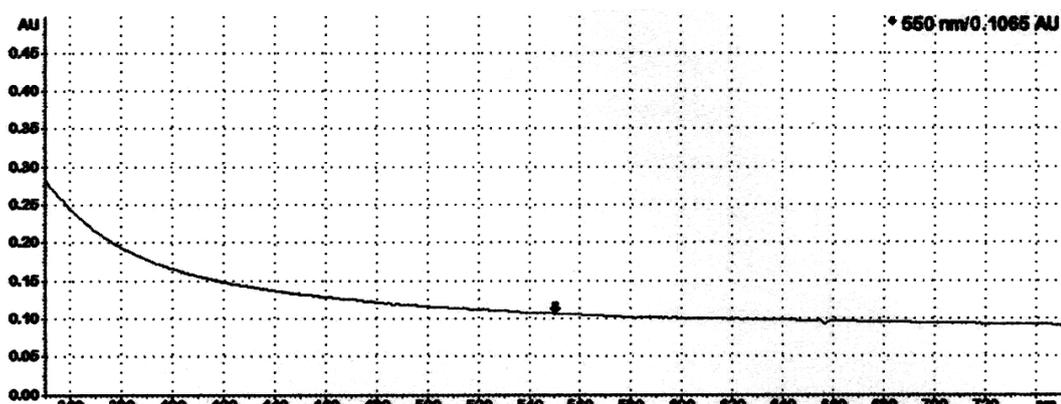
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 19. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-1) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



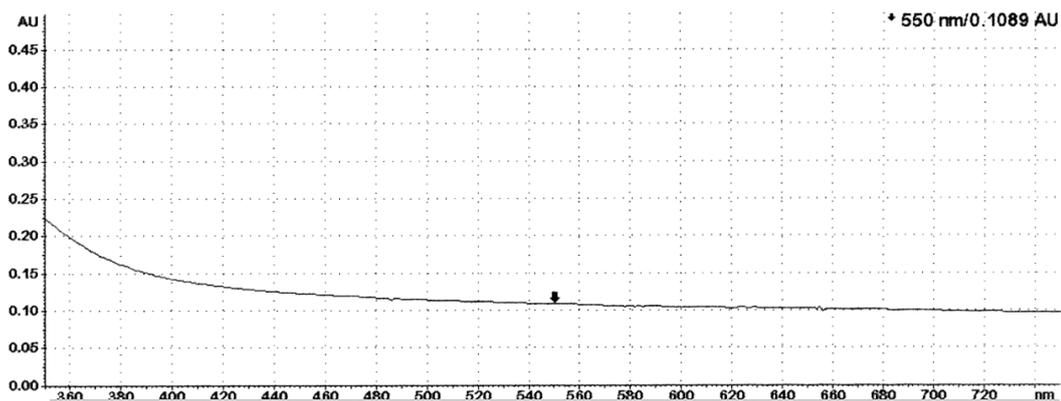
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 20. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-2) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



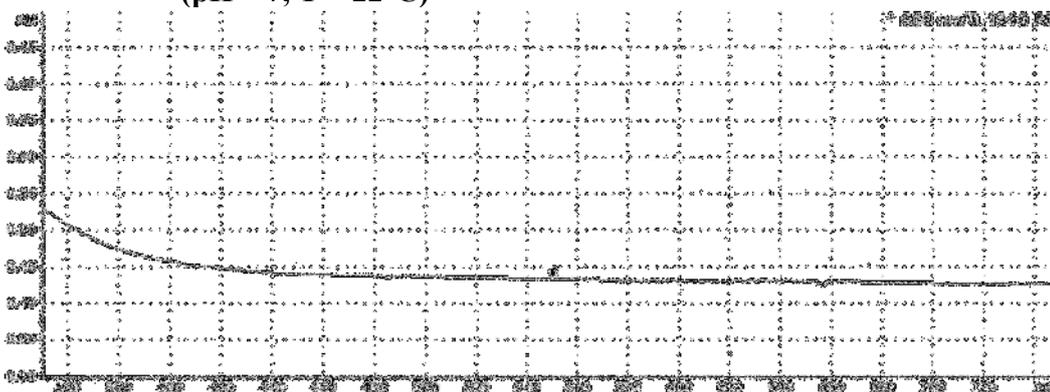
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 21. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-3) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



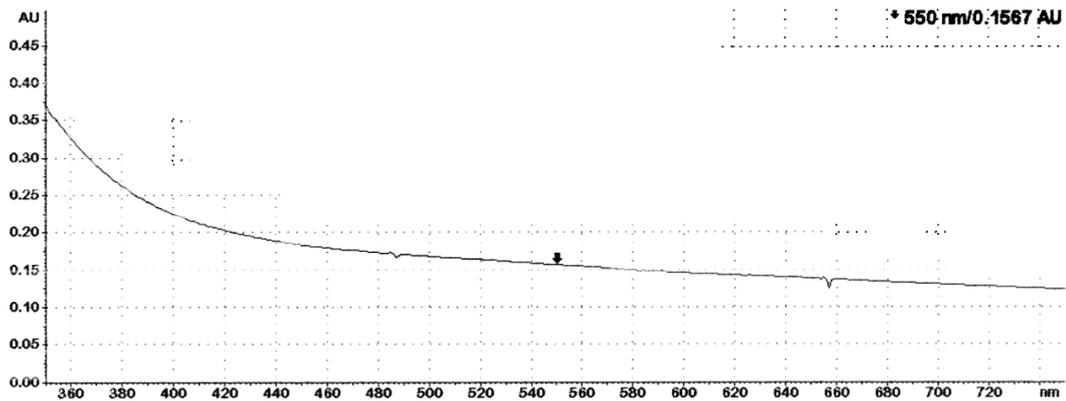
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 22. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-4) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



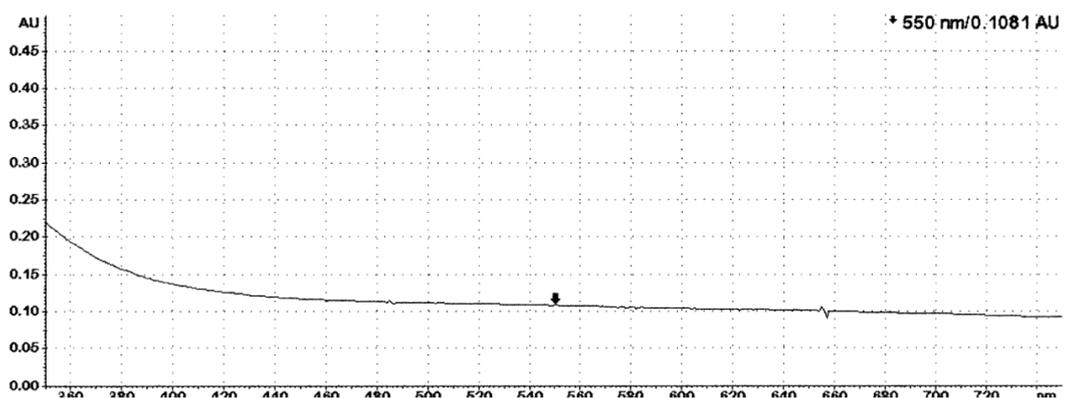
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 23. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-5) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



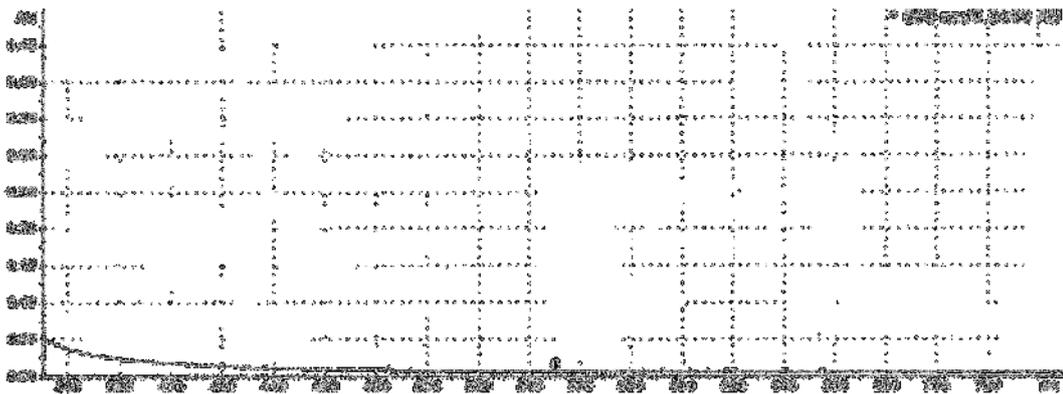
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 24. Espectro de absorción del azúcar patrón (P-6) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



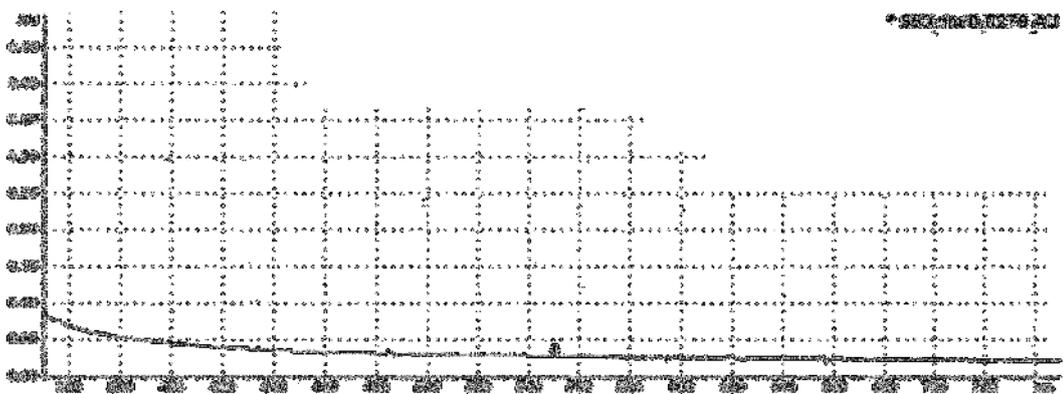
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 25. Espectro de absorción del azúcar superior (S-1) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



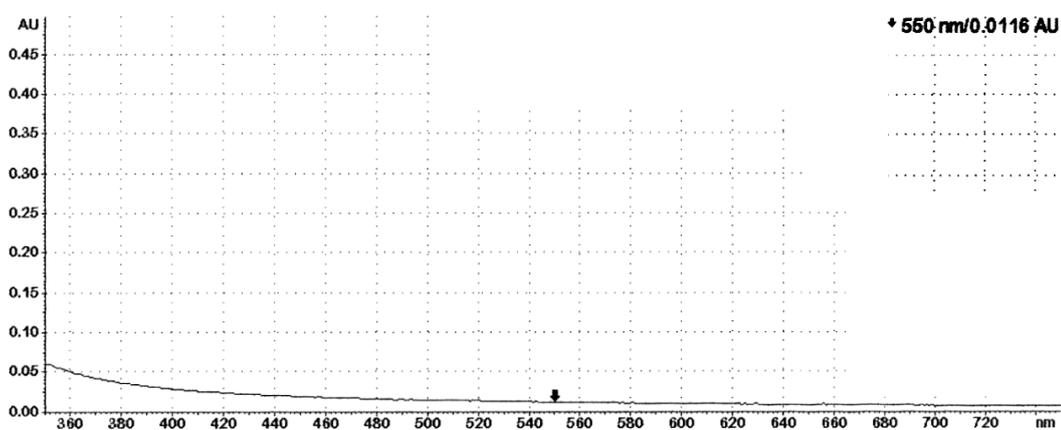
Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 26. Espectro de absorción del azúcar superior (S-2) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



Fuente : espectrofotómetro HP modelo 5483E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 27. Espectro de absorción del azúcar superior (S-3) utilizando como disolvente agua desmineralizada (pH = 7, T = 22°C)



Fuente : espectrofotómetro HP modelo 8453E de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

ANEXO I

Tabla IX. Valores Críticos de la distribución “t de student”

Los valores enumerados en la tabla son los valores críticos de “t” para los grados de libertad dados (columna de la izquierda) y el nivel alfa (encabezado de la columna). Para los niveles de alfa de dos colas, t_{crit} es + y -. Para ser significativo, $|t_{obt}| \geq |t_{crit}|$.

gl	Nivel de significado para la prueba de una cola						
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005	
	Nivel de significado para la prueba de dos colas						
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598	
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941	
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859	
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405	
8	1.397	1.860	2.306	2.986	3.355	5.041	
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437	
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318	
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221	

14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922

Continuación

gl	Nivel de significado para la prueba de una cola						
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005	
	Nivel de significado para la prueba de dos colas						
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883	
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850	
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819	
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792	
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767	
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745	
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725	
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707	
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690	
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674	
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659	
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646	
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.423	3.551	
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.390	3.460	
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373	
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291	

Fuente : Pagano, Robert. **Estadística para las Ciencias del Comportamiento**. México, 1999.

ANEXO II

Tabla X. Variedades de caña de azúcar utilizadas en Guatemala durante el período de zafra 2000 – 2001

Total área = 100% = 178,305 Ha.

Porcentaje del área cultivada	Variedad Utilizada
3.13	CP-73-15-47
72.29	CP-72-20-86
2.08	CP-72-12-10
4.33	MEX-68P23
2.43	PGM-89-968
4.98	PR-87-20-80
1.12	CP-88-15-08
9.64	Otras variedades

Fuente : Orozco, H y L, Ceballos. **Dinámica varietal de la agroindustria y composición de variedades por estrato altitudinal.** Memoria de la presentación de resultados de investigación, zafra 2000-2001. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala. Cengicaña. 6-20 pp.

ANEXO III

Tabla XI. Especificaciones del agua desmineralizada

1. Nombre común	Agua desmineralizada
2. Descripción del producto	Agua proveniente de pozo tratada por métodos de ósmosis, desionización y ozonificación
3. Características fisicoquímicas	Conductividad < 4 microsimiens pH 6.0 - 7.5 Sílice 0 ppm Dureza 0 ppm Alcalinidad parcial 0 ppm Alcalinidad total 4 ppm
4. Características microbiológicas	Recuento total de gérmenes 200 UFC/ml máx. Recuento de coliformes totales 0 UFC/ml
5. Vida en estante	Tres meses a 22°C
6. Uso y manejo	Agua para uso hospitalario, agua para fabricación de medicamentos, agua para análisis de laboratorio y agua para uso industrial

Fuente : Laboratorio de control de calidad de Alimentos, S.A. , embotelladores unidos , planta Concepción.

